

## Abstract

Der Anteil regenerativer und auf Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) basierender dezentraler Anlagen insbesondere zur Haus- und Siedlungsversorgung wird in den kommenden Jahren stetig ansteigen und erheblichen Einfluss auf den Betrieb bestehender – bisher zentralistisch organisierter – sowie neu aufzubauender Energiesysteme haben.

Zur detaillierten Untersuchung des genannten Einflusses auf elektrische und thermische Versorgungsstrukturen wurden daher die *betrieblichen* Charakteristika von Komponenten dezentraler Energieversorgungsanlagen einschließlich Energiespeicher recherchiert. Aufbauend darauf wurde unter MATLAB/Simulink eine *Modell-Bibliothek dezentraler Systemkomponenten* entwickelt für

- stochastisch betriebene regenerative Quellen wie Photovoltaik und Windkraftanlagen,
- steuerbare Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung auch in Kraft-Wärme-Kopplung (z.B.: auf Basis von Stirling-, oder Gasmotoren und Brennstoffzellen),
- elektrische und thermische Speicher unterschiedlicher Technologien für den Kurz- und Langzeitbereich,
- verschiedene Typen elektrischer Drehstrom-Generatoren, sowie
- Umrichter zur Anbindung von Gleichstromkomponenten sowie drehzahlvariablen elektrischen Maschinen.

Die jeweils anhand von Literaturdaten und Messwerten parametrisierten und verifizierten Modelle erlauben Schrittweiten von einer Sekunde bis zu einigen Minuten und ermöglichen somit detaillierte Untersuchungen des *betrieblichen Klemmenverhaltens* der Einzelkomponenten sowie deren *Interaktion innerhalb eines Versorgungssystems* auch über lange Zeiträume (Wochen oder Monate).

Zur komponenten- und systemweiten Untersuchung stationärer Arbeitspunkte und dynamischer Lastwechsel eines *dampfreformerbasierten PEM-Brennstoffzellen-Gesamtsystems* einschließlich der Möglichkeit zu Konzeption, Test und Verifikation von lokalen und übergeordneten Regelkreisen wurde darüber hinaus eine *dynamische* Modellierung entwickelt. Die mit Hilfe von Messwerten eines entsprechenden Laborsystems parametrisierten und verifizierten Modelle der Einzelkomponenten beinhalten beispielsweise

- die Wasserstoffgenerierung unter Berücksichtigung der Kinetik des Dampfreformierungsprozesses,
- die Konzentrationsverluste im Strömungskanal und elektro-chemischen Ausgleichsvorgänge an der Phasengrenze einer in Kraft-Wärme-Kopplung betriebenen Brennstoffzelle,
- einen Wärmetauscher und Wechselrichter zur Nutzung der bereitgestellten thermischen und elektrischen Leistung und
- einen mit Erdgas und Ausnutzung des Anoden-Offgases betriebenen Reformer-Brenner.

Der Betrieb dezentraler Energieversorgungssysteme erfordert ein an die jeweiligen Gegebenheiten und Begrenzungen angepasstes Management, welches sich gerade bei sehr kleinen Systemen (z.B. Hausenergieversorgung) flexibel auch an das Nutzerverhalten adaptieren muss. Das hierzu realisierte Konzept beinhaltet die Komponenten

- *Erzeugermanagement* zur Vorgabe von Leistungs-Sollwerten an die dezentrale Energieversorgungsanlage,
- *Lastmanagement* zur gezielten Freigabe von Betriebszeiten bestimmter Verbraucher für einen effizienten Betrieb des Systems und
- *Lastprognose* zur Berücksichtigung für die Zukunft erwarteter elektrischer bzw. thermischer Lastverläufe in aktuellen Entscheidungen.

Flexibilität und automatisierte Adaption des Managements an wechselnde Betriebsanforderungen werden durch Verfahren der *Computational Intelligence* erreicht.

Mit Hilfe der im Rahmen der Arbeit entwickelten Bausteine wurden Untersuchungen unterschiedlichster dezentraler Energieversorgungsstrukturen durchgeführt:

- Unter Verwendung von an einer realen Photovoltaik-(PV)-Anlage aufgezeichneten Messwerten wurde die betriebliche PV-Modellierung inklusive optionaler 2-achsiger Modulnachführung verifiziert; diese konnte anschließend unter Nutzung von vorliegenden Messdaten aus einem Einfamilienhaus beispielhaft zur Untersuchung der Auslegung verschiedener Varianten einer dezentralen Haus-Elektrizitätsversorgung mit wachsendem Grad an energetischer Autarkie verwendet werden.
- Das betriebliche Verhalten eines Windparks mit 72 Einzelanlagen wurde unter Nutzung des Energiemanagements und der aggregierten Simulation einer großen Zahl von Windenergieanlagen untersucht. Außerdem wurde der Einfluss eines Schwungmassenspeichers auf die Vergleichmäßigung der von einer einzelnen Windenergieanlage an das Netz abgegebenen Leistung betrachtet.
- Für die in einem Teststand vorhandenen Einzelkomponenten Brennstoffzelle und Dampfreformer konnte auf Basis des modellierten Gesamtsystems ein übergeordnetes Regelungskonzept entwickelt werden und damit u.a. die durch Rückführung des Anoden-Offgases erzielbaren Zugewinne im Systemwirkungsgrad, sowie der Einfluss des H<sub>2</sub>-Nutzungsgrades auf die Dynamik des Gesamtsystems nachgewiesen werden.
- An Hand der detaillierten betrieblichen Anlagen-Modellierung wird der Einsatz der entwickelten Managementmodule für den Betrieb eines KWK-Systems zur Hausenergieversorgung vorgestellt. Die hier gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz eines intelligenten Managements quasi unverzichtbar für das Erreichen von Energie- und Betriebskosteneffizienz einer solchen Anlage ist.